

令和3年度～令和4年度
屋内作業に適した職場における熱中症予防方法等に関する研究
研究代表者 堀江正知

研究の目的：本研究は、屋内作業場において、発熱源等の熱中症のリスク要因を分析し、屋内暑熱職場での WBGT の推定式を作成して検証し、屋内作業場の特性に応じて実現可能な熱中症予防対策を提案することを目的とした。

研究の方法：2年間、班会議をほぼ毎月実施し、各分担研究の結果を共有し、2022年12月から報告書を取りまとめた。2021年6～9月の夏期には、調理場、食堂、クリーニング施設、介護福祉施設、食品製造、金属加工、プラスチック製造、粉体加工、倉庫での暑熱環境測定、服装調査、作業強度調査、生体モニタリング、主観的評価等を実施し、2022年にかけて分析を行った。同じく2021年6～9月に、北海道、群馬県、神奈川県、大阪府、福岡県の6事業場における WBGT 等の連続測定を実施し、屋内・屋外、日向・日陰、地面条件等の異なる場所で4～5週間にわたり WBGT を測定した。最寄りのアメダス地点での値を使用して WBGT の推定式を作成した。これらの結果を整理した上で、2021年11月と12月に屋内空調設備専門家等による検討会を2回開催して、効果的な熱中症予防対策を検討した。2022年1～10月に、鋳物、造船、厨房等の職場の協力を得て IoT 機器で室内温湿度を測定してモバイルネットワークへ接続してクラウドに記録するシステムを設置してデータを収集した。2022年4月に、福岡労働局が調査した休業4日未満を含む熱中症事案に関するデータを取得して、気象データと突合したデータベースを作成し、気象条件と被災者の特徴を変数として休業4日以上となるリスクを回析した。2022年7～8月には、コンビニ弁当の惣菜を調理する大規模食品製造工場1事業場、スーパーマーケット調理場4事業場の協力を得て、WBGT 計の連続データを収集し、放射温度計で熱源の表面温度を測定し、実地の聞き取り調査を行った。2022年7～8月には、粉体加工とクリーニング職場の協力を得て携帯型温熱計による WBGT 連続測定、心拍数と胸部体表温の連続測定、主観的負担感等の調査を実施し、同一被験者で身体冷却装置（冷却ベスト）の装着ありとなしの条件で比較した。2022年7～9月に、事務室及び工場建屋内で WBGT を連続測定してアメダス地点のデータと比較した。そして、2022年6～10月には、気温35℃で湿度50%に設定した人工気候室で男性2名を対象に80Wの運動を負荷して、直腸温、心電図、自覚的負荷等を測定し、冷却ベストの着用ありとなしの条件で比較した。2022年11月に、食品製造業の業界団体会員304社に調査票を配布して62社（20.4%）から回答を得、倉庫業の業界団体会員3,401社に配布して1,101社（32.4%）から回答を得て、結果をまとめた。以上の結果に基づいて、2023年1～3月に「屋内作業における熱中症予防対策の提案」を取りまとめた。

研究の結果：屋内の WBGT はアメダス地点より遅れて上昇すること、日の入り前でも15～17時頃から屋内のほうがアメダス地点より高くなり日の出まで高い傾向を認めること、西向きの金属製シャッターの表面温度は16時頃に著明に上昇すること、近接した建物壁の輻射熱が影響することを確認した。2012以降の文献を抽出し7文献を体系的に要約し、作業環境、作業時間、冷却用保護具に関する熱中症予防対策の知見を整理した。熱中症による

労働災害は、休業 4 日未満の事案が休業 4 日以上の方の約 9 倍発生しており、高リスクの条件は、6 月下旬から 8 月中旬、男性、高齢であったが、WBGT との相関は弱かった。屋内の調理場、クリーニング職場、倉庫等では、鉄板、コンロ、ジェットオーブン、フライヤー、二重釜、平釜、スパボイル、IH 調理器、炊飯器、食品保温装置、食器洗浄機、配膳車、ラップをかける装置（ラッパー）、アイロン、熱湯の配管等が熱源であった。WBGT は従業員の出勤や調理機器稼働からやや遅れて上昇し、稼働終了後は緩やかに低下する傾向を認めた。介護福祉業では、調理場での調理作業や浴場での介助作業等が最重要のリスクであった。厨房内配膳室と厨房内のスープやケトルの調理位置、厨房外の食堂における気温が 30°C 以上に達していることを確認した。造船作業場では、一部の屋外作業場や造船中の船舶内部は気温が 40°C を越えることを確認した。鋳物製造作業場では、焼成炉や成型機の前で気温が 40°C を越えることを確認した。事務室等の WBGT 連続測定でもアメダス地点での変化より位相が遅れることや日射により天井やシャッターの表面温度が上昇して屋内の温熱環境に影響を与えることが分かった。熱中症予防対策として、エアコン、スポットクーラー、扇風機、作業エリアの冷水器、作業前と作業中の体調確認、作業前の体温測定、救急処置訓練、緊急連絡網の作成、水筒を置く場所の確保等が行われていたが、熱中症予防管理者は全く選任されていなかった。調査票調査には、食品製造業 62 事業所、倉庫業 1,011 事業所が回答し、フライヤー、食洗器、オーブン、エアコンプレッサー等が発熱源であることが分かった。WBGT 実測は 14.0%、値に応じた作業時間短縮は 12.5% に留まり、休憩頻度は 2 時間に 1 回が 54.8% と最多であった。「STOP! 熱中症クールワークキャンペーン」の認知度は 20.3% で「環境省熱中症予防情報サイト」の 37.3% や「熱中症警戒アラート」の 74.5% より低く、熱中症予防管理者の選任は 3.4% であった。倉庫業の調査でも行政通知の認知度は食品製造業と同様の傾向であった。氷水循環による水冷ベストは主観的な暑さレベルや直腸温の上昇抑制に有用である可能性が示唆された。実測したデータを用いて、適時条件（同時刻のアメダス値を使用）とラグ条件（1 時間前のアメダス値を使用）の 2 種類に分けて WBGT 値の推定式を求めたが、決定係数は、適時条件では全測定場所で $R^2=0.829$ 、屋外で $R^2=0.959$ 、屋内で $R^2=0.772$ であった。ラグ条件でもほとんど同じであった。これらの結果に基づき、「屋内作業における熱中症予防対策の提案」を取りまとめた。

研究の考察：対策として、置換換気や大型扇風機の導入、窓から差し込む直射日光の遮断、気流の確保、熱源からの隔離の確保、作業者が空調温度を調整できる仕組みの導入、スポットクーラーや送風機付き作業服の導入、水冷ベストの使用、着替えの時間を考慮した休憩時間の確保、軽く腰掛けることができるような座面の高い椅子を設置、立位作業用マットの使用、下肢を伸ばして休憩するようなスペースの確保、外国人労働者へのリスクコミュニケーションの工夫等が必要と考えた。屋内で直射日光がない条件でも輻射熱の影響があることが推察された。モバイルネットワークを利用した IoT 技術による気温と相対湿度の自動リアルタイム測定は高温リスクの評価に有用と推察した。

今後の展望：WBGT 推定式は決定係数が 0.8 となるよう改良をめざしたい。本研究の提言で取り上げた屋内職場に特徴的な熱中症リスク、職場改善、熱中症防止用品等は、行政指導、学術団体の提言、災害防止団体や業界団体による広報等を通じた普及を図りたい。